

УДК: 621.794.4:546.682'19

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЛЕГИРОВАННОГО И ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ InAs С РАСТВОРАМИ СИСТЕМЫ $\text{HNO}_3\text{--HBr--CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$

© 2004 г. Н. В. Кусяк*, З. Ф. Томашик**, В. Н. Томашик**

*Житомирский государственный педагогический университет им. Ивана Франко, Украина

**Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева Национальной академии наук Украины, Киев

Поступила в редакцию 27.10.2003 г.

Изучен процесс химического растворения нелегированного и легированного оловом InAs в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr}$ –молочная кислота. Показано, что легирование оловом существенно влияет на характер химического травления арсенида индия, замедляя скорость его растворения. Бромвыделяющие растворы указанной системы могут быть использованы для различных обработок InAs и InAs(Sn).

ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении полупроводниковых приборов монокристаллические образцы редко используются в том виде, в каком они существуют сразу после выращивания. Как правило, их разрезают, шлифуют и полируют для придания им заданных размеров и ориентации и обрабатывают поверхность. В общей цепочке технологических операций химическая обработка полупроводниковых кристаллов является одной из самых актуальных проблем современного полупроводникового материаловедения и химии полупроводников. Необходимость получения качественной поверхности стимулирует детальное изучение и оптимизацию как состава травильных композиций, так и режимов обработки различных полупроводниковых материалов.

Бромсодержащие травители широко применяются для химического травления не только полупроводниковых соединений типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, но и халькогенидных полупроводников [1]. Это обусловлено в первую очередь тем, что бром при окислении полупроводниковых материалов образует хорошо растворимые в воде и некоторых органических растворителях бромиды, что способствует переводу процесса растворения в диффузионную область. Для обработки полупроводниковых материалов типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ чаще всего используют растворы брома в метаноле. Установлено, что скорости травления GaAs, InP и InAs в таких растворах линейно увеличиваются с повышением концентрации брома, причем при перемешивании возрастает скорость растворения. Высокое качество поверхности обрабатываемых материалов дает возможность причислить этот травитель к наиболее универсальным, однако большая токсичность как брома, так и метанола вынуждают

вести поиск новых, менее токсичных бромсодержащих травильных композиций. К таким композициям можно отнести раствор брома в этиленгликоле в соотношении 1 : 10, который позволяет получать зеркальную поверхность InAs и GaSb и является более устойчивым во времени [2]. По данным [3], растворение GaAs в 3 %-ном растворе Br_2 в этиленгликоле приводит к образованию на его поверхности овальных ямок травления, которые выстраиваются в направлении [110].

Локальное травление GaAs и InP можно проводить раствором брома в диметилформамиде (ДМФА), причем использование 5 %-ного раствора Br_2 в ДМФА позволяет получить полированную поверхность InP с каналами травления и без бокового подтравливания [4]. Повышение концентрации брома в таком растворе приводит к увеличению скорости растворения. Введение в раствор Br_2 в ДМФА глицерина увеличивает вязкость раствора, а скорость растворения InSb p- и n-типов в таких растворах слабо изменяется с повышением температуры [5]. Необходимо отметить, что при повышении концентрации брома в указанных растворах количество микронеровностей на обработанной поверхности уменьшается. Однако при одновременном увеличении и концентрации брома, и скорости перемешивания количество микронеровностей возрастает.

Для химического травления полупроводниковых соединений типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ известны также травильные композиции, содержащие бромистоводородную кислоту. Например, для определения концентрации дислокаций на поверхности InP предложено использовать растворы $\text{HBr} + \text{HCl}$ и $\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4$ [6] или $\text{HNO}_3 + \text{HBr}$ [7], причем в последнем случае при взаимодействии компонентов

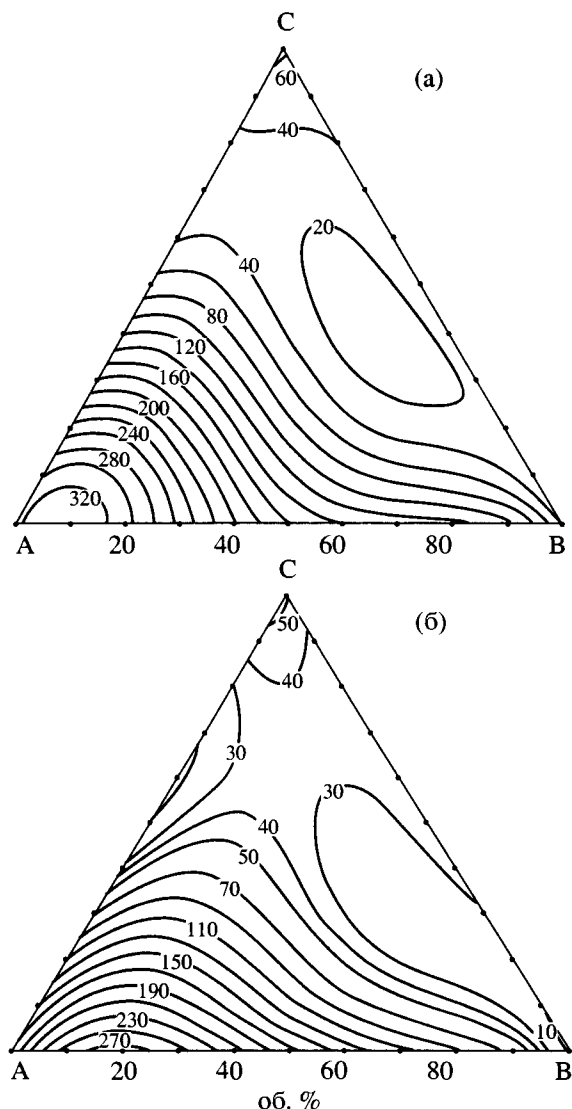


Рис. 1. Концентрационные зависимости скорости травления (мкм/мин) InAs (а) и InAs(Sn) (б) ($T = 296 \text{ K}$, $\gamma = 86 \text{ мин}^{-1}$) в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr--C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ при объемном соотношении $\text{HNO}_3 : \text{HBr} : \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ в вершинах треугольника 10 : 90 : 0 (А), 20 : 20 : 60 (В), 90 : 10 : 0 (С).

травильной композиции выделяется свободный бром.

В наших предыдущих работах была исследована кинетика и механизм растворения и химической резки InAs в растворах системы $\text{Br}_2\text{--HBr}$ [8], а также взаимодействие арсенида индия с растворами систем $\text{HNO}_3\text{--HBr--H}_2\text{O}_2$ [9] и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr--щавелевая кислота}$ [10].

Настоящая работа посвящена изучению кинетики химического растворения нелегированного и легированного оловом InAs в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr--молочная кислота}$ в воспроизводимых гидродинамических условиях с помощью методики вращающегося диска.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr--молочная кислота}$ азотная кислота обычно является окислителем, бромисто-водородная кислота должна растворять образующиеся в результате окисления продукты, а молочная кислота способствует образованию комплексных соединений, повышает вязкость образующихся травильных композиций и в некоторой степени регулирует процесс выделения свободного брома. Как было показано ранее, взаимодействие HNO_3 и HBr в составе травильной композиции приводит к образованию Br_2 и бромистого нитрозила (NOBr), причем количество образующегося брома будет зависеть от соотношения $[\text{HNO}_3]/[\text{HBr}]$ в растворе [11]. Выделяющийся в результате взаимодействия компонентов травителя бром может раствориться в избытке HBr , образуя растворы, похожие по составу и свойствам на растворы системы $\text{Br}_2\text{--HBr}$, в которых окислителем выступает бром. Если соотношение $[\text{HNO}_3]/[\text{HBr}] < 0.9$, то образующийся бром может выделяться из раствора. Необходимо отметить, что при соотношении $[\text{HNO}_3]/[\text{HBr}] > 0.8$ равновесие устанавливается при комнатной температуре уже через 5–10 мин после появления первых порций Br_2 , а при соотношении $[\text{HNO}_3]/[\text{HBr}] < 0.1$ равновесное состояние достигается не ранее, чем через 60 мин, что зависит от температуры раствора, его освещенности и некоторых других факторов. Использование в составе травильной композиции молочной кислоты дает возможность выделяющемуся бром частично в ней раствориться.

Для исследований использовали монокристаллические пластины InAs и InAs(Sn), вырезанные перпендикулярно направлению [111], площадью $\sim 0.5 \text{ см}^2$ и толщиной 1.4–1.8 мм. Методика работы детально описана нами ранее в [10]. Для приготовления растворов использовали 70%-ную HNO_3 ("ос.ч."), 40 %-ные HBr и молочную кислоту ("х.ч.").

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены концентрационные зависимости скорости растворения нелегированного и легированного оловом InAs в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr--молочная кислота}$, построенные экспериментально с использованием математического планирования эксперимента на симплексах [12]. Выбор исследуемого интервала составов обусловлен в первую очередь необходимостью избежания областей пассивации, а также тем, что при добавлении малых количеств одной кислоты к другой может резко измениться механизм протекающей при травлении гетерогенной химической реакции [13].

Из рис. 1 видно, что поверхности равных скоростей растворения InAs и InAs(Sn) (диаграммы Гиббса) похожи, однако легирование приводит к

существенному снижению скорости растворения. Максимальные скорости растворения наблюдаются в растворах, обогащенных бромисто-водородной кислотой (угол А), и достигают 320 мкм/мин для нелегированного и 270 мкм/мин для легированного оловом InAs. В растворах, обогащенных молочной кислотой (угол В), скорость растворения, как и следовало ожидать, имеет минимальные значения, причем и в этом случае легирование InAs оловом уменьшает скорость растворения.

Необходимо отметить, что влияние легирования на скорость химического травления в литературе не описано и зафиксировано нами впервые. Оно имеет большое практическое значение, поскольку, как правило, используются легированные полупроводниковые материалы, что может вносить определенные коррективы в процесс химической обработки одного и того же полупроводника при легировании различными примесями. Причиной такого влияния являются, очевидно, образующиеся при взаимодействии травильной композиции с легирующими примесями химические соединения, которые могут как замедлять (выступать ингибиторами как в случае растворения легированного оловом InAs в указанных выше растворах), так и, возможно, ускорять (выступать катализаторами) процесс химического растворения основного вещества.

Для полирующих растворов из разных областей концентрационного треугольника были построены зависимости скорости растворения (v) от скорости вращения (γ) в координатах $v^{-1} - \gamma^{-1/2}$. Поскольку как в случае нелегированного, так и легированного оловом InAs эти зависимости можно экстраполировать в начало координат (рис. 2), процесс растворения в обоих случаях лимитируется диффузионными стадиями [1].

Это заключение было подтверждено при изучении температурной зависимости скорости растворения указанных выше материалов в тех же растворах, в которых изучали зависимость скорости растворения от скорости вращения диска (таблица). Поскольку и для нелегированного, и для легированного оловом InAs кажущаяся энергия активации не превышает 15 кДж/моль, их химичес-

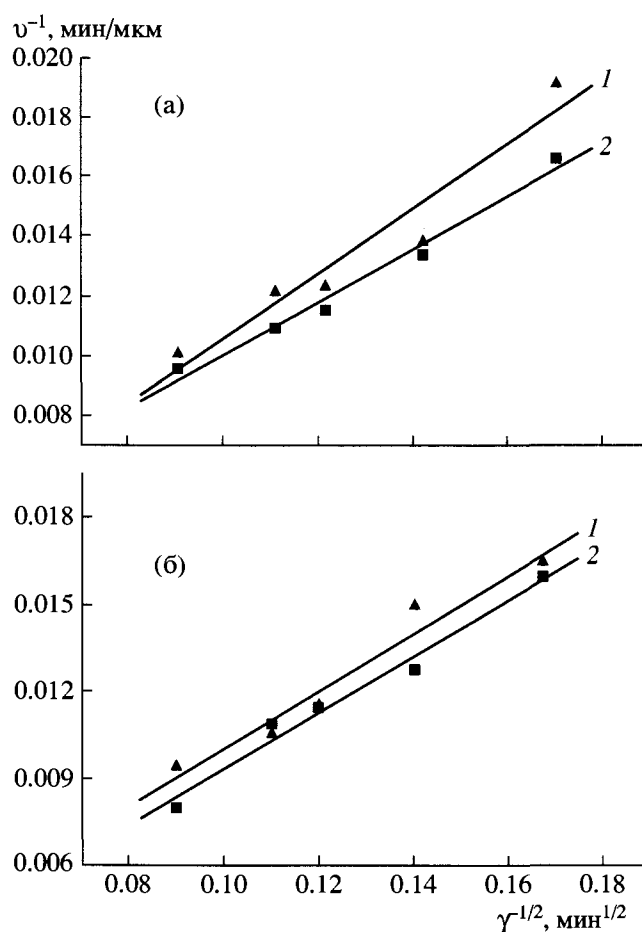


Рис. 2. Зависимости скорости растворения InAs (а) и InAs(Sn) (б) от скорости перемешивания ($T = 296$ К) в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr--C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ при объемном соотношении $\text{HNO}_3 : \text{HBr} : \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 = 37.5 : 17.5 : 45$; (1), 35 : 35 : 30 (2).

кое растворение в указанных растворах действительно лимитируется диффузионными стадиями.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что растворы системы $\text{HNO}_3\text{--HBr}$ –молочная кислота могут быть использованы для химического полирования и селективного травления InAs и InAs(Sn).

Кинетические параметры процесса растворения InAs и InAs(Sn) в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr}$ –молочная кислота

| Образец | Состав раствора, мл | | | E_a , кДж/моль | $\ln C_E^*$ |
|----------|---------------------|------|------------------|------------------|-------------|
| | HNO_3 | HBr | Молочная кислота | | |
| InAs | 10.5 | 10.5 | 9 | 6.8 | 6.71 |
| InAs(Sn) | | | | 14.1 | 9.83 |
| InAs | 11.25 | 5.25 | 13.5 | 12.1 | 8.90 |
| InAs(Sn) | | | | 6.7 | 6.91 |

$$*C_E = e^{-E/(RT)}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучен характер химического растворения InAs и InAs(Sn) в растворах системы $\text{HNO}_3\text{--HBr}$ –молочная кислота и впервые установлено значительное влияние легирования на характер химического травления.

Показано, что растворы изученной системы могут быть использованы для различных технологических обработок (химического полирования, селективного травления) нелегированного и легированного оловом InAs.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перевоицков В.А.* Процессы химико-динамического полирования поверхности полупроводниковых соединений // *Высокочистые вещества*. 1995. № 2. С. 5–29.
2. *Дарилов В.А., Сафонов А.А., Бенедиктов Ю.А., Аншон А.В.* Нарушенный слой в подложках CdSnAs_2 , InAs и GaSb, приготовленных для жидкостной эпитаксии // *Электрон. техника. Сер. 6. Материалы*. 1980. Вып. 4. С. 48–52.
3. *Ganeau C.* Determination of the $[110]$ and $[\bar{1}\bar{1}0]$ Directions on (001) GaSb and GaSb Based Wafers // *J. Electrochem. Soc.* 1986. V. 133. № 12. P. 2658–2659.
4. *Возилова Л.Н., Бердиченко М.М.* Исследование локального травления GaAs и InP диметилформамидным раствором брома // *Изв. АН СССР. Неорг. материалы*. 1980. Т. 16. № 1. С. 13–17.
5. *Старовойтова В.В., Санников В.А.* Изучение процесса травления антимонида индия в системе диметилформамид–бром // *Электрон. техника. Сер. 6. Материалы*. 1980. Вып. 11 (48). С. 106–109.
6. *Wang Jing, Xia Ping.* New Dislocations Etchants for Indium Phosphide // *Bandaoti Xuebao*. 1985. V. 6. № 1. P. 98–99.
7. *Chu S.N.G., Jodlauk C.M., Ballman A.A.* New Dislocation Etchant for InP // *J. Electrochem. Soc.* 1982. V. 129. № 2. P. 352–354.
8. *Tomashik Z.F., Danylenko S.G., Tomashik V.N., Kravetski M.Yu.* Chemical Dissolution of Indium Arsenide in the $\text{Br}_2\text{--HBr}$ Solutions // *Semicon. Phys., Quantum Electron. & Optoelectronics*. 1999. V. 2. № 4. P. 73–75.
9. *Tomashik Z.F., Danylenko S.G., Tomashik V.N.* Dissolution of Indium Arsenide in Nitric Solutions of the Hydrobromic Acid // *Semicond. Phys., Quantum Electron. & Optoelectronics*. 1999. V. 2. № 1. P. 80–83.
10. *Томашик В.Н., Кусяк Н.В., Томашик З.Ф., Даниленко С.Г.* Химическое травление арсенида индия растворами системы $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr}$ –щавелевая кислота // *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2001. Т. 3. № 1. С. 14–17.
11. *Томашик В.Н., Сава А.А.* Взаимодействие теллура и теллурсодержащих полупроводниковых соединений с азотнокислыми растворами бромистоводородной кислоты // *Неорган. материалы*. 1992. Т. 28. № 2. С. 324–328.
12. *Томашик В.Н., Сава А.А.* Применение математического планирования эксперимента для жидкостного травления полупроводников // *Завод. лаб.* 1987. Т. 53. № 7. С. 65.
13. *Изидинов С.А., Блохина А.П.* Кинетика параллельно-последовательных реакций в процессах формирования пленки на кремнии в HF с добавками HNO_3 // *Журн. прикл. химии*. 1978. Т. 51. № 12. С. 2645–2648.

Dissolution Behavior of Undoped and Sn-Doped InAs in HNO_3 –HBr– $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$

N. V. Kussyak*, Z. F. Tomashik**, and V. N. Tomashik**

* *Lashkarev Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, pr. Nauki 45, Kiev, 03028 Ukraine*

** *Franco Pedagogical University, Bol'shaya Berdichevskaya ul. 40, Zhitomir, 10008 Ukraine*
e-mail: kussyak@zspu.edu.ua

Received October 27, 2003; in final form, April 28, 2004

Abstract—The dissolution of undoped and Sn-doped InAs in HNO_3 –HBr–lactic acid solutions is studied. The results demonstrate that doping with Sn markedly reduces the dissolution rate of indium arsenide. Bromine-releasing solutions of the system studied can be used for various treatments of InAs and InAs(Sn).

INTRODUCTION

In the fabrication of semiconductor devices, as-grown crystals are rarely used. Usually, crystals are sliced, lapped, and polished to obtain wafers of controlled dimensions, orientation, and surface condition. Chemical etching of semiconductor crystals is one of the most important areas of semiconductor materials research and chemistry. The ability to prepare high-quality semiconductor surfaces depends crucially on careful optimization of etch compositions and conditions.

Bromine-containing compositions are widely used to etch not only III–V compounds but also chalcogenide semiconductors [1], primarily because the bromides forming during oxidation of semiconductor materials are readily soluble in water and some organic solvents, which makes it easier to achieve diffusion control. III–V semiconductors are commonly etched with methanolic solutions of bromine. The dissolution rates of GaAs, InP, and InAs increase linearly with increasing bromine concentration in methanol and can be notably accelerated by stirring. This etchant ensures high quality of surface preparation for many semiconductors. However, both bromine and methanol are highly toxic, which stimulates the search for new, less toxic bromine-containing etch compositions. One such etchant is a 1 : 10 solution of bromine in ethylene glycol, which enables the preparation of mirror-smooth InAs and GaSb surfaces and is more stable [2]. According to Ganeau [3], GaAs dissolution in a 3% Br_2 solution in ethylene glycol leads to the formation of oval etch pits aligned in the [110] direction.

Local etching of GaAs and InP can be achieved with a bromine solution in dimethylformamide (DMFA). A 5% Br_2 solution in DMFA allows one to prepare polished InP surfaces with etch grooves, without lateral etching [4]. Increasing the bromine concentration in such solutions increases the dissolution rate. The addi-

tion of glycerol to Br_2 solutions in DMFA raises the solution viscosity. The dissolution rates of *p*- and *n*-type InSb in such solutions vary little with temperature [5]. As the bromine concentration increases, the etched surface becomes smoother. At the same time, increasing both the bromine concentration and stirring rate leads to rougher surfaces.

HBr-containing compositions can also be used to etch III–V semiconductors. For example, $\text{HBr} + \text{HCl}$, $\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4$ [6], and $\text{HNO}_3 + \text{HBr}$ [7] mixtures were reported to be adequate dislocation etchants for InP. In the last system, the reaction between the acids leads to bromine liberation.

Earlier, our group studied the kinetics and mechanisms of InAs dissolution and chemical cutting in Br_2 –HBr solutions [8] and the reactions of indium arsenide with HNO_3 –HBr– H_2O_2 [9] and $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ –HBr–oxalic acid solutions [10].

The purpose of this work was to investigate the dissolution kinetics of undoped and Sn-doped InAs in HNO_3 –HBr–lactic acid solutions under controlled hydrodynamic conditions using the rotating-disk method.

EXPERIMENTAL

In HNO_3 –HBr–lactic acid solutions, nitric acid typically acts as an oxidizer, hydrobromic acid dissolves the oxidation products, and lactic acid favors the formation of complexes, raises the viscosity of the etchant, and, to some extent, controls bromine release. As shown earlier, the reaction between HNO_3 and HBr in etch compositions leads to the formation of Br_2 and nitrosylbromide (NOBr). The amount of forming bromine depends on the HNO_3 : HBr ratio in solution [11]. The bromine may dissolve in excess HBr to form solutions close in composition and properties to Br_2 –HBr

solutions, in which bromine acts as an oxidizer. At $\text{HNO}_3 : \text{HBr}$ molar ratios below 0.9, the liberated bromine may form a separate phase. Note that, for $\text{HNO}_3 : \text{HBr} > 0.8$, room-temperature equilibration takes 5–10 min after the beginning of Br_2 liberation; for $\text{HNO}_3 : \text{HBr} < 0.1$, equilibration takes at least 60 min, depending on the solution temperature, illumination, and some other factors. The liberated bromine may partially dissolve in lactic acid.

We studied (111) InAs and InAs(Sn) wafers about 0.5 cm^2 in area and 1.4–1.8 mm in thickness. The experimental procedure was described in detail elsewhere [10]. Solutions were prepared from extrapure-grade 70% HNO_3 and reagent-grade 40% HBr and 40% lactic acid.

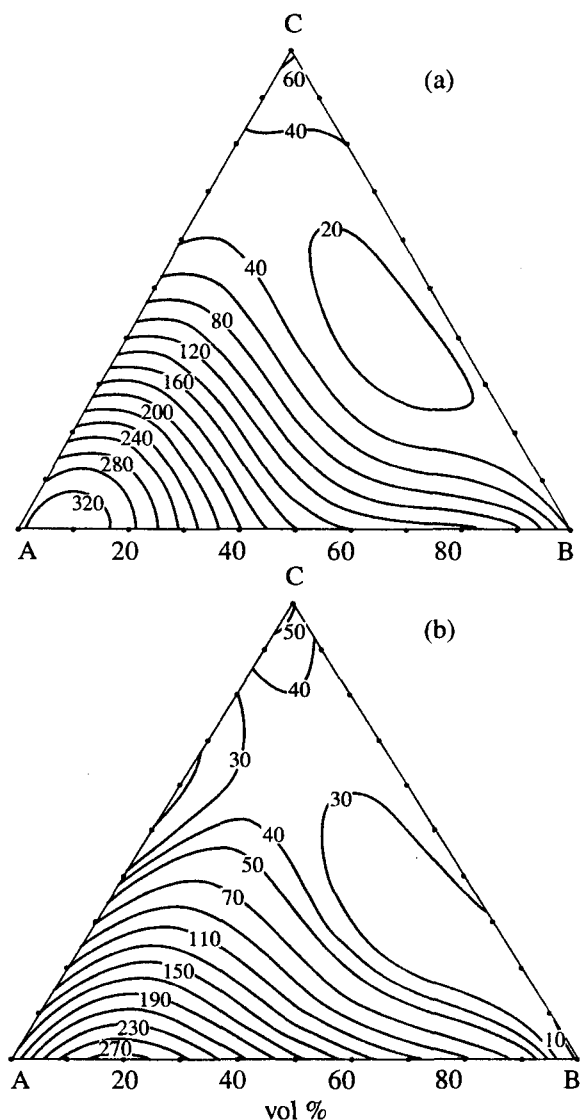


Fig. 1. Dissolution-concentration diagrams for (a) InAs and (b) InAs(Sn) in HNO_3 - HBr - $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ solutions; $\text{HNO}_3 : \text{HBr} : \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ volume ratio is 10 : 90 : 0 in corner A, 20 : 20 : 60 in corner B, and 90 : 10 : 0 in corner C; $T = 296 \text{ K}$, rotation rate $\gamma = 86 \text{ rpm}$; numbers on the contours indicate the dissolution rate ($\mu\text{m}/\text{min}$).

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the dissolution-concentration diagrams for undoped and Sn-doped InAs in HNO_3 - HBr -lactic acid solutions. The data were obtained using a simplex design of experiments [12]. The composition range was chosen so as to avoid passivation and also with allowance made for the fact that small additions of one acid to another may cause sharp changes in the mechanism of the heterogeneous reaction involved [13].

As seen in Fig. 1, the contours of constant dissolution rate (Gibbs diagrams) for InAs and InAs(Sn) are similar in shape, but Sn doping markedly reduces the dissolution rate. The dissolution rate is higher in HBr-rich solutions (corner A), attaining $320 \mu\text{m}/\text{min}$ for InAs and $270 \mu\text{m}/\text{min}$ for InAs(Sn). In solutions rich in lactic acid (corner B), the dissolution rate is the slowest, as would be expected, and Sn doping of InAs also reduces the dissolution rate.

Note that the influence of doping on the rate of chemical etching has not been analyzed in the litera-

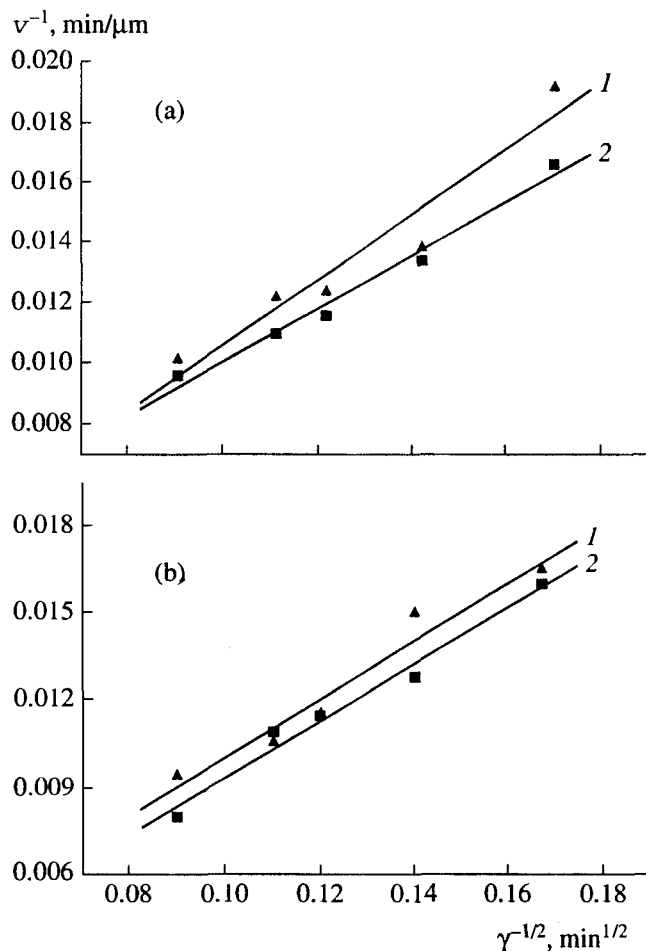


Fig. 2. Plots of v^{-1} against $\gamma^{-1/2}$ for (a) InAs and (b) InAs(Sn) at 296 K in HNO_3 - HBr - $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ solutions at an $\text{HNO}_3 : \text{HBr} : \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ volume ratio of (1) 37.5 : 17.5 : 45 and (2) 35 : 35 : 30.

Parameters of InAs and InAs(Sn) dissolution kinetics in HNO₃–HBr–lactic acid solutions

| Material | Solution composition, ml | | | E_a , kJ/mol | $\ln C_E^*$ |
|----------|--------------------------|------|-------------|----------------|-------------|
| | HNO ₃ | HBr | Lactic acid | | |
| InAs | 10.5 | 10.5 | 9 | 6.8 | 6.71 |
| InAs(Sn) | | | | 14.1 | 9.83 |
| InAs | 11.25 | 5.25 | 13.5 | 12.1 | 8.90 |
| InAs(Sn) | | | | 6.7 | 6.91 |

* $C_E = e^{-E/(RT)}$.

ture. Our results are the first to demonstrate this effect, which is of practical importance since it is doped semiconductors that are used in most device applications, and one must, therefore, optimize the etch composition for each particular dopant. Clearly, this effect arises from the reaction between the etchant and dopant: the resulting compounds may slow down (inhibit, as in the case of InAs(Sn) dissolution in the system under consideration) or, possibly, accelerate (catalyze) the dissolution of the host compound.

For different etch compositions, we plotted v^{-1} (v is the dissolution rate) against $\gamma^{-1/2}$ (γ is the rotation rate) (Fig. 2). All of the lines thus obtained extrapolate to the origin, indicating that the dissolution process is diffusion-limited for both InAs and InAs(Sn) [1].

To further validate this conclusion, we measured the dissolution rate as a function of temperature using the same solution compositions as above (table). For both InAs and InAs(Sn), the apparent activation energy extracted from those data does not exceed 15 kJ/mol, providing clear evidence that the dissolution of these materials is diffusion-limited.

Our experimental results demonstrate that HNO₃–HBr–lactic acid solutions are well-suited to chemical polishing and selective etching of InAs and InAs(Sn).

CONCLUSIONS

The present results on the dissolution behavior of InAs and InAs(Sn) in HNO₃–HBr–lactic acid solutions are the first to demonstrate that doping may have a significant effect on the dissolution rate.

The solutions studied are well-suited to chemical polishing and selective etching of both undoped and Sn-doped InAs.

REFERENCES

1. Perevoshchikov, V.A., Dynamic Chemical Polishing of Semiconductor Surfaces, *Vysokochist. Veshchestva*, 1995, no. 2, pp. 5–29.
2. Darilov, V.A., Safonov, A.A., Benediktov, Yu.A., and Anshon, A.V., Disturbed Surface Layer of CdSnAs₂,

InAs, and GaSb Substrates for Liquid-Phase Epitaxy, *Elektron. Tekh., Ser. 6: Mater.*, 1980, no. 4, pp. 48–52.

3. Ganceau, C., Determination of the [110] and $[\bar{1}\bar{1}0]$ Directions on (001) GaSb and GaSb Based Wafers, *J. Electrochem. Soc.*, 1986, vol. 133, no. 12, pp. 2658–2659.
4. Vozmilova, L.I. and Berdichenko, M.M., Local Etching of GaAs and InP with Bromine Solution in Dimethylformamide, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Neorg. Mater.*, 1980, vol. 16, no. 1, pp. 13–17.
5. Starovoitova, V.V. and Sannikov, V.A., Etching of Indium Antimonide in the Dimethylformamide–Bromine System, *Elektron. Tekh., Ser. 6: Mater.*, 1980, no. 11 (48), pp. 106–109.
6. Wang Jing and Xia Ping, New Dislocations Etchants for Indium Phosphide, *Bandaoti Xuebao*, 1985, vol. 6, no. 1, pp. 98–99.
7. Chu, S.N.G., Jodlauk, C.M., and Ballman, A.A., New Dislocation Etchant for InP, *J. Electrochem. Soc.*, 1982, vol. 129, no. 2, pp. 352–354.
8. Tomashik, Z.F., Danylenko, S.G., Tomashik, V.N., and Kravetski, M.Yu., Chemical Dissolution of Indium Arsenide in the Br₂–HBr Solutions, *Semicond. Phys., Quantum Electron. Optoelectron.*, 1999, vol. 2, no. 4, pp. 73–75.
9. Tomashik, Z.F., Danylenko, S.G., and Tomashik, V.N., Dissolution of Indium Arsenide in Nitric Solutions of the Hydrobromic Acid, *Semicond. Phys., Quantum Electron. Optoelectron.*, 1999, vol. 2, no. 1, pp. 80–83.
10. Tomashik, V.N., Kussyak, N.V., Tomashik, Z.F., and Danylenko, S.G., Etching of Indium Arsenide in K₂Cr₂O₇–HBr–Oxalic Acid Solutions, *Kondens. Sredy Mezhhfaznye Granitsy*, 2001, vol. 3, no. 1, pp. 14–17.
11. Tomashik, V.N. and Sava, A.A., Reactions of Tellurium and Tellurium-Containing Semiconductors with Solutions of Hydrobromic Acid in Nitric Acid, *Neorg. Mater.*, 1992, vol. 28, no. 2, pp. 324–328.
12. Tomashik, V.N. and Sava, A.A., Experimental Design in Chemical Etching of Semiconductors, *Zavod. Lab.*, 1987, vol. 53, no. 7, p. 65.
13. Izidinov, S.A. and Blokhina, A.P., Kinetics of Parallel-Consecutive Reactions in Film Growth on Silicon in HF with HNO₃ Additions, *Zh. Prikl. Khim.* (Leningrad), 1978, vol. 51, no. 12, pp. 2645–2648.